

ジェット気流による粉粒体の粉碎に関する研究

著者	本間 寅二郎
号	242
発行年	1975
URL	http://hdl.handle.net/10097/11191

氏 名	ほん ま とら じ ろう 本 間 寅 二 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 5 0 年 4 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 2 5 年 3 月 東北大学工学部鉱山学科卒業
学 位 論 文 題 目	ジェット気流による粉粒体の粉碎に関する研究

論 文 審 査 委 員	東北大学教授 下飯坂潤三	東北大学教授 堀部 富男
	東北大学教授 川島 俊夫	東北大学教授 八嶋 三郎
	東北大学教授 大谷 茂盛	

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 言

ジェット気流を利用したジェットミルにより、粉粒体を粉碎する方法はかなり古くから考案されているが、一般の粉碎とはその様相を異にしているので、粉碎特性や操作条件の粉碎効果に及ぼす影響については、充分解明されていない部分も残されている。

すなわち、ジェットミルに関する従来の研究には、Rumpf を代表とするミルの設計資料を得るための基礎研究、森らの粉碎速度に関する研究、Dotson を代表とする立て型のジェットミルを用いた粉碎作用に関する研究に大別されるが、森らの研究を除いて、砕料の粉碎抵抗に言及したものはない。また森らの研究では、産物粒径 100μ を粉碎速度を論ずる際の基準粒径としているので、この基準となる粒径が 100μ より細くなった場合には、粉碎速度式は当てはま

らない。

一般にジェットミルは、粉碎産物粒径で数 μ に粉碎する超微粉碎機なので、粉碎産物の粒径が、 15μ 以下となるような微粉領域を対象として、産物の粒度分布を考慮に入れた粉碎速度を究明しなければ、ジェットミルの粉碎速度に関する本質的な解明とはならない。

以上の観点から、 15μ 以下の微粉領域を対象として、新たに粉碎産物の粒度分布と、砕料の粉碎抵抗を因子とする粉碎速度式の導出、および砕料粒子の材料力学的性質と、 15μ 以下に粉碎される確率との関係の究明を目的として、本研究を実施した。

第2章 ジェットミルの微粉碎特性

本章においては、横型ジェットミルを用いて、粉碎性の異なる5種類の石炭およびケイ石を対象として、微粉碎実験を行い、ジェットミルの基礎的粉碎作用の解明を試み、つぎの結果を得た。

1) ジェットミルの粉碎特性とくにその粉碎効果に関しては、ノズル圧、砕料供給速度、砕料供給粒度、粉碎室内の粒子滞留時間、ホールドアップ量および砕料の粉碎抵抗によって影響されることを明らかにした。

2) ノズル圧と粉碎効果に関しては、ノズル圧が高くなるに従がい増大し、圧力の増加につれて粉碎効果のあがる割合は次第に減少し、一定値に漸近する傾向を示す。かつ、このノズル圧と粉碎効果との関係曲線に、漸増型とS字型とがみられ、Hdの大きい砕料は漸増型に、Hdの小さい砕料はS字型に属することが認められた。

また、ノズル圧 1 Kg/cm^2 の条件における粉碎産物量と、産物粗粒部分の粒子形状の観察結果から、本装置の粉碎最小ノズル圧を、 1 Kg/cm^2 と仮定した。

3) 砕料供給速度と粉碎効果については、一般に供給速度が小さいほど粉碎効果はよい。これはミル内滞留時間が長くなり、ノズルからの気流噴射を受ける回数が増すためと考えられる。しかし、とくに粉碎性のよい砕料については、分級上限粒度およびホールドアップ量との関係から、最適供給速度が存在することが認められた。

4) 砕料供給粒度と粉碎効果については、砕料粒度が細かいほど、粉碎効果がよいことが認められた。

5) 石炭の微粉碎化という観点からみると、石炭Aのように、ノズル圧 $2.5 \sim 3.0\text{ Kg/cm}^2$ 、供給速度 12 Kg/h の条件で、 15μ 以下の粒度に調製できるものと、石炭Cのように、ノズル圧 6 Kg/cm^2 、供給速度 5 Kg/h の条件で、ほぼ同じ粒度分布を示すものがあり、微粉碎機としての性能は、砕料の粉碎性によって決定されるものと考えられる。

6) ジェットミルは、分級機としての性能も兼ね備え、供給速度やホールドアップ量との関係から、産物の上限粒度が決定されるという利点もあるが、動力源および付帯設備が膨大になり、

粉碎に要するエネルギーは、ボールミルおよび振動ミルと比較して、同じ砕料を同じ粒度に粉碎するのに、ほゞ3～8倍となることがわかった。

第3章 ジェットミルの粉碎速度と砕料の粉碎抵抗

本章においては、ジェット粉碎に関する森らの粉碎速度式に関して、粉碎産物粒径を 100μ と仮定したこと、および、粉碎速度は砕料供給粒度の0.5乗に、ノズル圧の1.5乗に比例するとしたことは、第2章で得られた結果とは相反するものがあることの2つの問題点を指摘し、さらに、ジェット粉碎における産物の粒度分布は、G-S分布法則が適用されるとの知見から、新たにG-S分布で表わした産物の粒度分布と、ハードグロブ指数で表わした砕料の粉碎抵抗を因子とする粉碎速度式を導いた。また、粉碎進行中のミル内残留物の粒子形状の観察結果に基づいて、ジェットミルの微粉碎過程を考察し、つぎの結果を得た。

1) ジェットミルにおいては、粉碎と分級とが同時に行われて微粉が生成されることが認められ、したがって、その粉碎速度を、溢流する微粉生成速度と、その生成微粉中に含まれる一定粒度以下の重量割合との積として定義し、ミル寸法、ノズル径、砕料のハードグロブ指数、粉碎産物粒度、ノズル圧、砕料供給粒度を関数とするつぎの実験式を導いた。

$$Q_{jFW} = K_j \cdot K_D \cdot K_4 (Hd)^{n_4} \cdot \left(\frac{d_p - d_c}{d_c} \right)^{n_1} \cdot \left(\frac{p - p_{min}}{p_{min}} \right)^{n_2} \cdot \left(\frac{d_f}{d_u} \right)^{n_3} \quad (3.14)$$

2) K_j , K_D は、それぞれミル寸法およびノズル径に関する常数、 n_1 , n_2 , n_3 は各砕料について一定の値をもつ指数、 n_4 はハードグロブ指数に関する指数、 K_4 は砕料の粉碎抵抗に関する係数と考えられ、 n_4 , K_4 は、ともに本装置について一定の値をもつ。したがって、 $K_4 (Hd)^{n_4}$ の項は、ジェットミル粉碎における砕料の粉碎抵抗に相当する内容を有するもので、粉碎速度を左右する重要な因子である。

3) ノズル圧に関する指数 n_2 については、森らは、砕料に関係なく1.5としているが、本研究によれば砕料の粉碎性によって異なり、1.2～2.9の範囲内にあることが認められた。

4) 砕料供給粒度に関する指数 n_3 についても、森らは砕料に関係なく0.5としているが、本研究によれば、砕料によって異なり、粉碎限界 $15 \sim 1\mu$ の範囲内において、すべて負の値を有し、 $-0.3 \sim -2.1$ の範囲内にあることが認められた。

5) ジェットミルによる微粉碎過程は、粒子同士の衝撃と摩耗によって進行し、表面粉碎と体積粉碎とが、それぞれ平行して行われていると考えられるが、大別すれば、表面粉碎を主体とする1次粉碎、体積粉碎を主体とする2次粉碎、さらに表面粉碎のみによる微粉碎の3段階の過程に分けられるものと考察される。

第4章 ジェットミルによる優先微粉碎の解析

本章においては、ジェットミル粉碎において、粒子同士が衝突した際に、その所定粒度以下に粉碎される確率は、砕料粒子のもつ材料力学的性質に支配されるという仮定のもとに、ノズル圧を変数とする 15μ 以下に粉碎される確率に関して、実験的検討を行い、実験式を導くとともに、優先微粉碎との関連性について検討を行い、つぎの結果を得た。

1) 黄銅鉱，方鉛鉱，閃亜鉛鉱ⅠおよびⅡ，黄鉄鉱，黒鉱，オーストラリヤ炭，ガラスおよびケイ石の9種類の試料につき、微粉碎実験を行い、粉碎産物中に含まれる 15μ 以下の粉碎確率を、ノズル圧と砕料供給粒度の関数として、つぎの実験式を導いた。

$$P = \left\{ 1 - K_s \cdot \left(\frac{d_f}{d_u} \right)^\alpha \cdot \left[\exp \left(\frac{P - P_{min}}{P_{min}} \right) \right]^\beta \right\}^m \quad (4.6)$$

Eq. 4.6 は、ガラスの場合はノズル圧 $4 \sim 6 \text{ Kg/cm}^2$ ，ケイ石の場合はノズル圧 $3 \sim 6 \text{ Kg/cm}^2$ ，他の砕料については、ノズル圧 $2 \sim 6 \text{ Kg/cm}^2$ の範囲内において成立し、 α は砕料供給粒度に関する指数、 β はノズル圧の影響に関する指数で、各砕料について一定の値をもつ。また、 K_s も各砕料について一定の値をもち、粉碎確率を左右する重要な因子である。

2) ノズル圧に関する粉碎確率を検討した結果、

$$K_s \cdot \left(\frac{d_f}{d_u} \right)^\alpha \geq \left[\exp \left(\frac{P - P_{min}}{P_{min}} \right) \right]^\beta \quad (4.8)$$

$$K_s \cdot \left(\frac{d_f}{d_u} \right)^\alpha < \left[\exp \left(\frac{P - P_{min}}{P_{min}} \right) \right]^\beta \quad (4.9)$$

の2つの式から、Eq. 4.8 が成立する場合には、 $P \leq 0$ となり、 15μ 以下には粉碎されない。 15μ 以下に粉碎されるためには、Eq. 4.9 が成立することが必要であり、それにはノズル圧を大きくしなければならない。ガラスにおけるノズル圧 4 Kg/cm^2 以下、およびケイ石におけるノズル圧 3 Kg/cm^2 以下の粉碎条件において、粉碎確率が存在しなかったのは、Eq. 4.8 が成立する場合に該当したものである。

3) 高速衝撃粉碎に関する田中らの破壊確率を、ジェットミルに適用し、Eq. 4.6 との関連性を検討した結果、 K_s は砕料固有の材料力学的性質を要素として含む係数であることが認められた。

4) ノズル圧が同一条件でも、砕料の K_s の値に差があれば、Eq. 4.8 と Eq. 4.9 とは同時に成立することもありうる。したがって、優先微粉碎の可能性が考えられ、 K_s は優先微粉碎係数とみなすことができる。

5) K_s は、等質、等球の粒子同士が衝突するという仮定のもとに求められたものであるが、これを異質成分粒子同士の衝突に拡大して考察した場合には、各粒子単味の K_s の差はさらに大きくなるから、優先微粉碎の効果も高くなるものと考察される。

第5章 連続式高速気流優先微粉碎機の試作

本章においては、第3章で導いた粉碎速度に関する粉碎抵抗、および第4章で導いた粉碎確率に関する優先微粉碎係数を基盤とし、ジェットミルの有効活用を目標として、新たに、高速気流優先微粉碎機を試作し、石炭およびケイ石の人工混合試料、およびラテライト、蛙目粘土を試料として、本試作機の粉碎、分級および選別性能に関する実験を行い、つぎの結果を得た。

1) 本試作機の構造は、大小2個のノズルリングを水平に重ね合わせ、1次、2次の粉碎室とし、粉碎室の底面を中央部に向かって傾斜させ、中央分級筒との間にすき間を設けたもので、砕料中の粉碎性の劣る成分を、粗粒子として分級し、連続的に捕集する方法を採用したものである。

また粉碎室全体を、サイクロン型捕集装置に収納した型式とし、微粉碎された溢流産物と、粗粒からなる下降流産物とを、連続的に分離回収できるようにした。

2) 本試作機を用いて、優先微粉碎係数に差が認められた石炭およびケイ石の混合試料を対象として回分式試験を行った結果、本試作機は、高精度の分級および選別性能を有することが認められた。

3) 本試作機を、ラテライトからのクロム鉱の除去に応用した結果、原鉱のクロム品位を1.89%から10.30%まで高めることができ、脱クロム率は74.1%であった。また、クロム鉱中への鉄の分布率は、6.9%で、従来の選鉱成績である25%と比較して著しく向上した。

さらに、本試作機を、蛙目粘土からカオリナイトの濃縮に応用した結果、濃縮されたカオリナイトは、現行の特級原料規格と比較して、すべて基準内の品位を示し、歩留ではわずか2.7%の向上であるが、粒度分布からみて細かく、従来の選鉱法で得た精鉱に比べて価値性は高い。さらに、本法は乾式処理であるため、湿式処理による白濁水の公害問題を抱えている現行法に比べ、有利な濃縮法であると考えられる。

4) 以上の試験結果から、試作した高速気流優先微粉碎機は、人工的混合試料のみでなく、異質成分の混合からなる鉱石類を対象とした場合でも、構成成分の優先微粉碎係数に大きな差があれば、微粉碎、分級および選別の3操作を同時に行いうる性能を有することが明らかとなった。

第6章 結 論

本章は本論文の結論である。

審 査 結 果 の 要 旨

ジェット気流を利用するジェットミルによる粉碎は、通常の粉碎とその様相を異にするため、その粉碎条件と粉碎効果との関係は未だ充分には明らかにされていない。また、ジェットミルは砕成物粒径を数 μ 程度まで細かくする微粉碎機なので、粉碎過程の解明には、かかる微粉領域における砕成物の粒度分布に対する考慮がなされねばならない。それにもかかわらず、このような研究例はほとんど見あたらない。

本論文は、横型多孔ジェットミルにおける粉碎条件と粉碎効果との関係を、多種の砕料を用いた実験結果に基づき、微粉領域を対象として粉碎速度ならびに粉碎確率の面から究明し、優先微粉碎への適用性を検討したもので、全編6章よりなっている。

第1章は緒論である。

第2章では、ジェットミル内における砕料のホールドアップを考慮し、ノズル圧、砕料供給速度、砕料粒度などの粉碎条件と粉碎効果との関係を明らかにし、次章以下の研究に対する基礎を与えている。

第3章では、ジェットミルの粉碎条件と微粉領域における砕成物の粒度分布とを考慮に入れた粉碎速度に関する実験式を導き、新たに砕料の粉碎抵抗係数を提唱している。この係数を用いれば、砕料の被粉碎性の差異は従来のハードグロブ数によるよりも、はるかに細密に表わしうることを明らかにしている。以上の結果は、著者により得られた重要な知見である。

第4章では、ジェットミル粉碎は砕料粒子同士の衝撃、摩耗による自生粉碎が支配的であるとする従来の概念と、所定粒径以下に破壊される確率の粒子固有の材料力学的性質による表示法とをジェットミルの微粉碎過程の解析に導入し、粉碎確率と粉碎条件との関係を示す実験式を求め、各砕料に対する優先微粉碎係数を提示し、優先微粉碎の可能性を指摘している。

第5章では、著者が試作した分級操作を兼ねるジェットミルによる優先微粉碎を試み、ラテライト鉱石からクロマイトの除去、蛙目粘土からカオリナイトの濃縮などを行っているが、従来の選鉱法に比較して、選鉱成績を著しく向上させている。これらの結果は、著者のジェットミル微粉碎に対する前章までの考察が妥当であることを示している。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文はジェットミルの粉碎条件と粉碎効果との関係を明らかにし、新たに粉碎速度に関する実験式を導き、併せてジェットミルによる優先微粉碎について重要な知見を得たものであり、鉱物処理工学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。